

УДК 553.41.

## ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О НАХОДКЕ САМОРОДНОЙ ПЛАТИНЫ В ПОРОДАХ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ МИЛОГРАДОВСКОЙ ВУЛКАНОСТРУКТУРЫ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ (РОССИЯ)

© 2014 г. Член-корреспондент РАН В. Г. Сахно, Ю. А. Кузнецов,  
Н. Н. Баринов, М. С. Пипко

Поступило 24.09.2013 г.

DOI: 10.7868/S0869565214050223

В последние десятилетия резко возросло внимание к платиноидным комплексным месторождениям. Открытие платиноидной минерализации, связанной с черносланцевыми толщами, может быть одним из главных источников добычи благородных металлов в будущем [1, 2].

К группе нетрадиционных типов минерализации относятся и комплексные золото-редкометалльно-платиноидные, а также золото-серебросодержащие месторождения Восточной Сибири и северо-востока России; в этих месторождениях были обнаружены платиноиды (платина и палладий). Это известные золоторудные месторождения Наталкинское, Нежданкинское и др., которые относятся к крупнообъемным. Их формирование связано с магматизмом Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧПВ) востока Азии [3]. В золоторудных месторождениях Наталкинское и Павлик ОЧВП, кроме Au, Ag, установлены Pt (до 10 г/т) и Pd (до 9 г/т) [3]. Геологическая особенность этих месторождений – наличие углеродсодержащих пород в составе фундамента (сланцы) и приуроченность к сдвигам и сопряженным с ними серий раздвиговых поперечных зон растяжения – Тенькинский, в пределах которого известны внедрения интрузий, даек основного и кислого составов [4]. Согласно последним данным такие зоны растяжения являются глубоко проникающими в мантию, вдоль которых формируются восходящие потоки восстановленных рудоносных флюидов [2, 5–7]. В вулканических поясах востока России широко распространены золото-серебряные месторождения эпитептермального типа, связанные с кальдерными комплексами. В ОЧВП

известны крупнообъемные и крупные месторождения – Дукат, Купол, Хаканджа и др., но платиноидная минерализация неизвестна [3].

В современных вулканах известны платинохлор-углеродистые комплексы, сосуществующие с гидроксидом Pt и самородной Pt; эти комплексы были обнаружены в продуктах сублимации газовых флюидов вулкана (о. Итуруп). Как полагают исследователи, формирование платиноидов связано с синтезом платино-углеродных комплексов в высокотемпературных условиях [8].

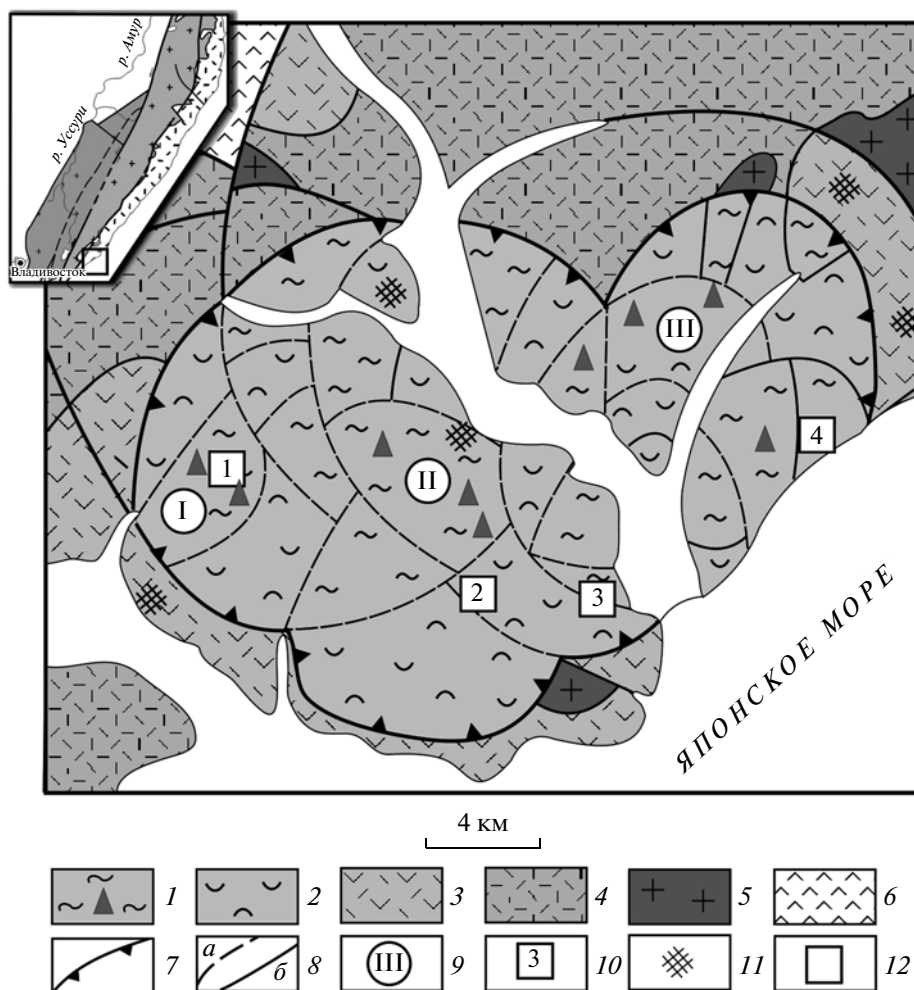
В Восточно-Сихотэ-Алинском вулканическом поясе (ВСАВП), который вместе с ОЧВП слагает Восточно-Азиатский вулканический линиямент, широко развиты эпитептермальные золото-серебряные рудопроявления в вулканоструктурах кальдерного типа (Милоградовская, Союз, Павилицинское и др.), размещение которых контролируется Восточным глубинным разломом и его поперечными сдвиговыми зонами растяжения, располагающимися эшелонированно к общему северо-восточному направлению [7, 9].

Геологические, петролого-геохимические и геохронологические исследования выявили общие черты строения, состав и возраст слагающих Милоградовскую вулканоструктуру вулcano-экструзивных и пирокластических комплексов (рис. 1) [6].

Установлено, что вулканоструктура как рудно-магматическая система (РМС) формировалась более 20 млн лет. Рудовмещающий вулканический комплекс (Милоградовский) связан с поздним этапом, возраст которого определен U–Pb–SHRIMP-методом по цирконам в 48–52 млн лет и которому предшествовал этап кальдерообразования с выбросом огромных объемов туфов, туффицитов [6].

Процесс формирования кальдеры сопровождался крупнообъемным метасоматическим преобразованием слагающих ее пород.

*Дальневосточный геологический институт  
Дальневосточного отделения  
Российской Академии наук, Владивосток  
ЗАО “ПриморЗолото”, Владивосток*



**Рис. 1.** Схема геологического строения Маргаритовской вулкано-тектонической структуры и вулканоструктур кальдерного типа, [6] с добавлениями авторов.

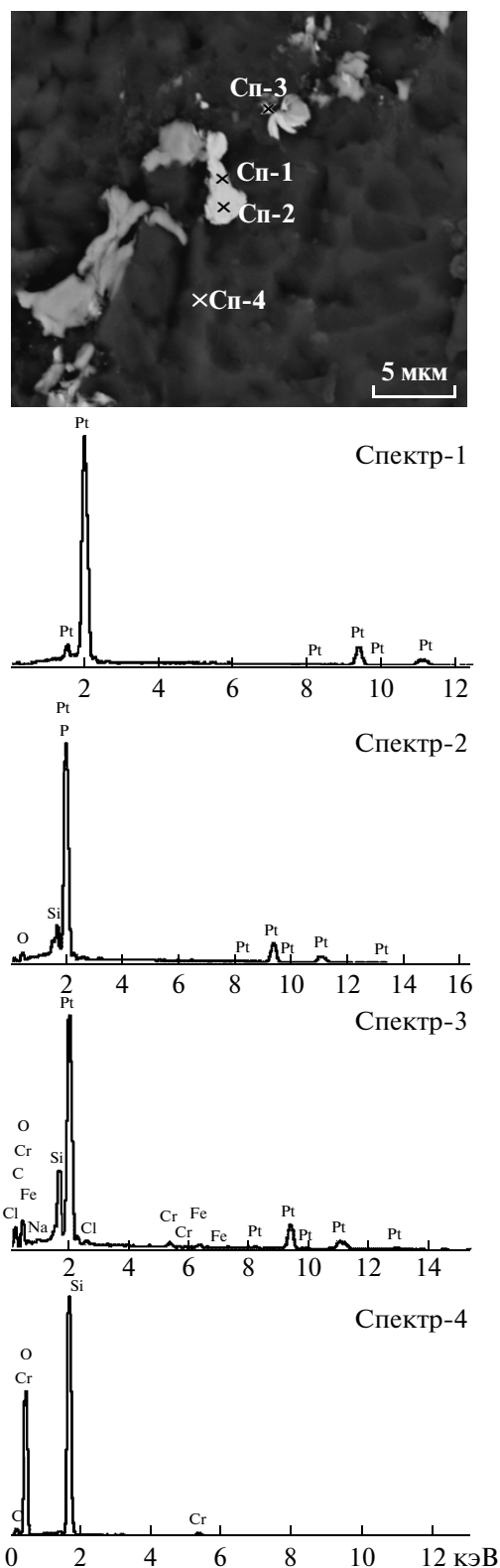
1 – Милоградский вулкано-экструзивный комплекс (эоцен): игнимбриты, туфы, туфобрекчии, экструзии дацитов, риодацитов, риолитов; 2 – Богопольский вулканический комплекс (палеоцен): туфы, туфобрекчии, игнимбриты риодацитов, риолитов; 3 – Сияновский вулкано-экструзивный комплекс (маастрихт): туфы, туфобрекчии, дациты; 4 – Приморский вулканический комплекс (турон, коньяк, сантон): игнимбриты, туфы риолитов и дацитов; 5 – Ольгинско-Владимирский интрузивный комплекс, граниты (верхний мел); 6 – Синанчинский вулканический комплекс (андезиты), вулканогенно-молассовые образования (петрозувская свита) (поздний альб–сеноман); 7 – граница Маргаритовской вулканоструктуры; 8 – дуговые и кольцевые разломы, контролируемые размещением субвулканических и дайковых пород (а), прочие разломы (б); 9 – кальдеры: I – Лимовая, II – Бровкинская, III – Ново-Петропавловская; 10 – месторождения и рудопоявления Au–Ag: 1 – Милоградское, 2 – Алтай, 3 – Шафраны, 4 – Петропавловское; 11 – гидротермально измененные породы; 12 – участок исследований.

Рудные тела представлены отдельными кварцевыми жилами и рудными зонами, состоящими из серии кварцевых жил, минерализованными дайками и зонами дробления с золото-серебряной минерализацией.

Для месторождения характерна многоэтапность оруденения, что обусловило совмещение (телескопированность) в его пределах минерализованных прожилковых типов руд. Во многих участках месторождения проявлено более позднее заполнение трещин сульфосолюно-флюорит-кварцевыми и сульфосолюно-адуряр-халцедон-кварцевыми жилами и прожилками. Особого внимания

заслуживают трещины выполнения халцедоновидным темно-серым кварцем; эти трещины содержат углеродистое вещество (зоны Западная Ось, Западная, Карлик и др.) [6]. Трещины в несколько сантиметров по мощности широко развиты в пределах Лимовой кальдеры и были детально исследованы с целью определения их минерального состава.

Анализ состава прожилков показал высокое содержание углерода. Эти определения проводили на анализаторе Shimadzu TOC-V, оборудованном приставкой для анализа твердых образцов SSM-5000A (Аналитический центр ДВГИ ДВО РАН,



**Рис. 2.** Фотография участка проявления платиноидной минерализации, полученная на сканирующем электронном микроскопе в отраженных электронах. В таблице и спектрах (1, 2, 3, 4) показаны соотношения платины и ассоциирующих элементов (С, Р, Сl и др.) в местах выполнения рентгеноспектрального анализа.

аналитик М.Г. Блохин), что дало возможность определить наличие в их составе органического и элементного (графит) углерода.

Для определения генезиса углерода был выполнен его изотопный анализ в ДВГИ на масс-спектрометре MAT-252. Были получены изотопные соотношения  $\delta^{13}\text{C}/\delta^{12}\text{C}$  ( $^{13}\text{C}_{\text{рДВ}}$ , ‰), которые определяют корово-мантийный источник [2] и предположительно поступление углерода в газовой фазе.

Для изучения морфологии и качественного анализа химического состава образцов использовали сканирующий электронный микроскоп EVO-50 XVP фирмы "С. ZEISS", оборудованный комплексом для проведения рентгеноспектрального анализа химического состава вещества INCA ENERGO 350. Использование энергодисперсионного спектрометра позволяет одновременно определять химические элементы от В до U.

Исследование образцов проводили при ускоряющем напряжении  $U = 20$  кВ. При этом получали изображения во вторичных электронах, отражающих топографию поверхности образца, и в обратно-рассеянных электронах, несущих усредненную информацию о распределении химических элементов в поверхностном слое препарата. Обнаружение частиц, содержащих благородные металлы, обеспечивали изучением изображений в обратно-отраженных электронах с последующим применением энергодисперсионного спектрометра. Препараты покрывали тонким слоем хрома (до  $150 \text{ \AA}$ ) для снятия электрического заряда с их поверхности.

Выполненные исследования позволили выявить ряд особенностей рудного минералообразования в трещинах.

Установлено присутствие самородной Pt, где она представлена в форме удлиненных "гантелеподобных" образований (рис. 2; табл. 1), приуроченных к трещинке в матриксе. Здесь же встречается Pt, возможно, в виде соединения Pt-P (рис. 2). В мельчайших зернах Pt представлена в ассоциации с Cl. Судя по спектру элементов, в объект определения попали и элементы Na, Si и др., которые находятся в матриксе. Следует подчеркнуть, что в матриксе постоянно присутствует С (от 60 до 4–5 мас. ‰), что говорит о неравномерном его распределении. Также определены S и Cl. Очень низкие концентрации S (0.11 мас. ‰) обнаружены совместно с Pt и Cl. Спектры, в которых они установлены, очень малы (первые микрометры), вследствие чего соединения Pt не выделены в отдельную фазу и поэтому идентификация этой фазы условна.

Помимо самородной Pt здесь обнаружен Pd (рис. 3; табл. 1), а также самородное Au в соединении с Sb, Au с Cu, а также сульфиды Ag (акантит  $\text{Ag}_2\text{S}$ ), сфалерит и хорошо ограненные кристаллы циркона.

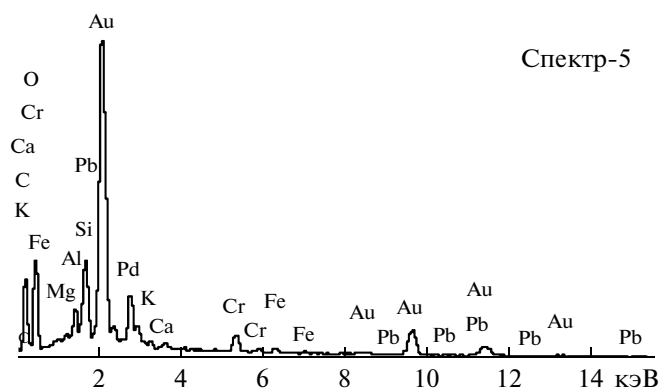
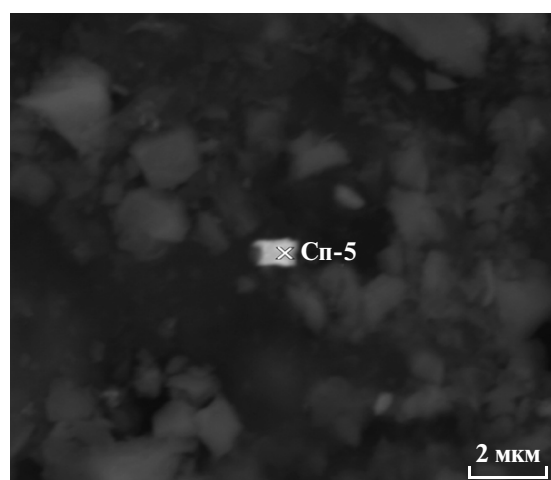
**Таблица 1.** Соотношение Pt и Au и ассоциирующих элементов (С, Р, Cl, Рb и др.) в породах Лимовой кальдеры

Элемент	Спектр 1		Спектр 2		Спектр 3		Спектр 4		Спектр 5	
	Мас. %	Атом. %	Мас. %	Атом. %	Мас. %	Атом. %	Мас. %	Атом. %	Мас. %	Атом. %
Pt	100.0	100.0	90.79	50.29	64.27	12.03				
C					18.08	54.97	11.69	16.86	25.97	59.17
O			5.06	34.20	10.90	24.88	61.59	66.67	16.29	27.87
Mg									0.27	0.31
Al									1.07	1.08
K									0.47	0.33
Na					0.45	0.71				
Ca									0.44	0.30
Pd									8.50	2.19
Au									42.28	5.87
Pb									1.64	0.22
Si			2.97	11.41	4.85	6.30	26.72	16.47	2.40	2.34
P			1.18	4.10						
Cl					0.42	0.43				
Fe					1.03	0.67			0.67	0.33
Na					0.45	0.71				
Сумма	100.0		100.0		100.0		100.0		100.0	

Такое разнообразие минеральных фаз и платиноидной минерализации, возможно, связано с различным характером их выделения при сублимации из газового флюида при резком перепаде температурного градиента: от высокотемпературных, с отложением фаз с низкой валентностью (самородных металлов Pt, Au и др.), до средне-низкотемпературных – галогеноидная (хлоридная) и сульфидная (сульфосоли Ag, Bi и пр.). На-

ложения фаз – вполне характерные явления для вулканических структур кальдерного типа, что наблюдали на вулкане “Кудрявый”, Итуруп, Курильский остров [8].

Представляют большой интерес установление ассоциации благородных металлов (Pt, Pd, Au) с S, Se, P, Cl и образование, помимо самородных фаз, хлоридных соединений Pt, а также платино-органических соединений, формирование кото-



**Рис. 3.** Фотография участка проявления золото-палладиевой минерализации, полученная на сканирующем электронном микроскопе в отраженных электронах.

Таблица и спектр (5) отражают соотношение золота и палладия в ассоциации с элементами матрицы (С, Рb и др.).

рых возможно при сублимации газовым флюидом либо в высоконеравновесных условиях при газотранспортных реакциях [8, 10].

Такие условия возникают при образовании кальдерных комплексов в вулканоструктурах, приуроченных к глубинным разломам, и сопряженных с ними поперечных зонах растяжения (“окна”), уходящих глубоко в мантию, в пределах которых формируется восходящий поток углеродсодержащих восстановленных рудоносных флюидов. Эти условия вполне соответствуют формированию Лимовой кальдеры Милоградской вулканоструктуры [6].

Из представленных данных можно сделать некоторые предварительные выводы о платиноидной минерализации.

При исследовании установлена самородная Pt (рис. 2). Также возможно образование платинаорганических соединений Pt с Cl, P в присутствии S (возможно, графита). Это позволяет предполагать, что образование самородной Pt и ее соединений проходило в высоконеравновесных условиях, свойственных газовой фазе переноса элементов [8, 10]. Высокая доля мантийного гелия в рудных кварцах, установленная в Милоградских рудных зонах ранее, позволяет говорить, что этот процесс имеет глубинные (мантийные) источники [6, 9].

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума ДВО РАН и ОНЗ РАН (проект № 12-I-П27-01).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лаверов Н.П., Дистлер В.В.* // Геология руд. месторождений. 2008. Т. 45. № 4. С. 291–304.
2. *Ханчук А.И., Плюснина Л.П., Молчанов В.П.* // ДАН. 2004. Т. 399. № 4. С. 524–529.
3. *Волков А.В., Гончаров В.И., Сидоров А.А.* Месторождения золота и серебра Чукотки. М.: ИГЕМ РАН; Магадан; СВКНИИ ДВО РАН, 2006. 221 с.
4. Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых / Под ред. Н.П. Лаверова, Д.В. Рундквиста. М.: ИГЕМ, 2006. Т. 3. Кн. 1. 471 с.
5. *Летников Ф.А.* // Геология руд. месторождений. 2001. Т. 43. № 4. С. 291–307.
6. *Сахно В.Г., Ростовский Ф.И., Аленичева А.А.* // ДАН. 2010. Т. 433. № 2. С. 219–226.
7. *Сахно В.Г., Коваленко С.В., Аленичева А.А.* // ДАН. 2011. Т. 438. № 1. С. 82–90.
8. *Дистлер В.В., Диков Ю.П., Юдовская М.А. и др.* // ДАН. 2008. Т. 420. № 2. С. 217–220.
9. *Сахно В.Г.* Позднемезозойско-кайнозойский вулканизм Востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 2001. 338 с.
10. *Коржинский М.А., Ткаченко С.И., Булгаков Р.Ф., Шмулович К.И.* // Геохимия. 1996. № 2. С. 1175–1182.